

**VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN DES
SAUERSTOFFDRUCKES IM ARTERIELLEN UND KAPILLÄREN
BLUT IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN FAKTOREN**

von
Claus Meisel
aus
Gärtenroth

1973 # 459



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548408_0022

Aus der Medizinischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. L. Demling

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN DES SAUERSTOFFDRUCKES IM ARTERIELLEN UND KAPILLÄREN BLUT IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN FAKTOREN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Claus Meisel

aus

Gärtenroth

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. L. Demling

Referent: Prof. Dr. L. Demling

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Oktober 1973

INHALTSVERZEICHNIS

- I. Einleitung und Problemstellung
- II. Meßmethodik, Versuchspersonen und Versuchsbedingungen
 - 1. Vergleich von Sauerstoffdruck im Blut aus der Arteria femoralis und aus dem Ohrläppchen
 - a) Kontrollgruppe von 31 Patienten ohne Polyglobulie bzw. Einflußstauung
 - b) Patienten mit Einflußstauung und/oder Polyglobulie
 - 2. Arteriell-kapillärer Sauerstoffdruck der Fingerbeere bei künstlicher Stauung im Vergleich zum Ausgangswert
 - a) bei einem Staudruck am Oberarm 10 % unter dem diastolischen Blutdruck
 - b) bei einem Staudruck zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck
 - 3. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Liegen und im Stehen
 - 4. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Kapillarblut des Ohrläppchens und der Fingerbeere
- Meßmethode
- Statistische Berechnung
- III. Ergebnisse
 - 1. Korrelation zwischen dem Sauerstoffdruck des Blutes aus der Arteria femoralis und dem des Ohrläppchen-Kapillarblutes

- a) Kontrollgruppe von 31 Patienten ohne Einflußstauung bzw. Polyglobulie
 - b) Testgruppe von 30 Patienten mit Einflußstauung bzw. Polyglobulie
 - c) Gegenüberstellung der Differenzen des arteriell-kapillären und des arteriellen Sauerstoffdruckes bei der Kontrollgruppe einerseits und bei der Testgruppe andererseits
2. Arteriell-kapillärer Sauerstoffdruck des Fingerbeerenblutes bei künstlicher Stauung im Vergleich zum Ausgangswert
- a) Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke bei unbehindertem und gestautem venösen Abfluß (Staudruck 10 % unter dem diastolischen Blutdruck)
 - b) Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke bei unbehindertem und gestautem venösen Abfluß (Staudruck zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck)
 - c) Gegenüberstellung der Differenzen des Sauerstoffdruckes bei unbehindertem und behindertem venösen Abfluß bei den beiden verschiedenen Staudrücken
3. Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Ohr läppchenkapillarblut im Liegen und im Stehen
4. Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Kapillarblut des Ohr läppchens und der Fingerbeere

IV. Diskussion

- 1. Korrelation zwischen Sauerstoffdruck im Arterien- und Kapillarblut

- a) Bei Patienten ohne Einflußstauung bzw. Polyglobulie
 - b) Bei Patienten mit Einflußstauung und/oder Polyglobulie
2. Vergleich des kapillären Sauerstoffdruckes aus der Fingerbeere bei graduell abgestufter künstlicher Stauung des venösen Abflusses und bei gestautem Abfluß
- a) Staudruck unter dem diastolischen Blutdruck
 - b) Staudruck zwischen diastolischem und systolischem Druck
3. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes aus dem Ohrläppchenkapillarblut im Liegen und im Stehen
4. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Fingerbeeren- und im Ohrläppchenblut

Zusammenfassung

Literatur

I. Einleitung und Problemstellung

Die Blutgasanalyse ist ein wichtiger Bestandteil der Lungenfunktionsanalyse. Die klassischen gasanalytischen Methoden zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung (20, 21) waren zeitraubend und erforderten eine Arterienpunktion. BATES und OLIVER (5) entwickelten zwar eine Methode, mit der die Sauerstoffsättigung im Kapillarblut bestimmt werden kann, jedoch bedingte diese Methode einen beträchtlichen Zeitaufwand. Dieser Nachteil wurde mit Entwicklung der unblutigen Transmissionsoxymetrie (6, 18) ausgeglichen, deren Genauigkeit als ausreichend gelten kann (17).

In der weiteren Entwicklung wurden Quecksilber-Elektroden zur direkten Sauerstoffdruckmessung verwendet (Haemoxysimeter (2, 3)), die später durch Platin-Elektroden ersetzt wurden (7).

Diese boten den Vorteil der raschen Anzeige und wurden in der Folge durch Kunststoffüberzüge verbessert (4). Aber auch für die Messung mit diesen Makroelektroden waren größere Blutmengen und daher eine Arterienpunktion notwendig.

Mit einer neueren Entwicklung einer Mikroelektrode von GLEICHMANN und LOBBERS (11) und THEWS (23, 24) ist das Füllvolumen so gering gehalten, daß kleinste Blutproben von ca. 50 µl genügen. Hiermit waren die Voraussetzungen geschaffen, Bestimmungen des Sauerstoffdrucks in kleineren Kapillarblutmengen vorzunehmen.

In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, daß unter sorgfältigen Kautelen Kapillarblut aus dem Ohr-läppchen den gleichen Sauerstoffdruck hat wie Arterienblut (5, 8, 22, 23, 27, 28).

Diese Entwicklung bietet folgende Vorteile:

1. Umgehung der zeitraubenden chemisch-quantitativen Analyse der O_2 -Sättigung nach van SLYKE (20).
2. Rasche polarographische Anzeige.
3. Messung in kleinsten Blutmengen.
4. Vermeidung der Arterienpunktion.

Der besondere Vorteil liegt in der Möglichkeit, die Messung unter veränderten Bedingungen beliebig oft zu wiederholen, besonders unter klinischen Bedingungen, die eine häufige Kontrolle des Sauerstoffpartialdruckes erfordern, wie bei der Überwachung der Beatmungstherapie, des Schocks, der alveolären Hypoventilation, der Komata sowie im Belastungsversuch.

Voraussetzung für die Anwendung der Sauerstoffdruckmessung im kapillären Blut ist dessen Übereinstimmung mit dem arteriellen Vollblut. Unter normalen zirkulatorischen und respiratorischen Bedingungen bei Gesunden ist dies in verschiedenen Untersuchungsreihen nachgewiesen (5, 22, 27, 28). Es stellte sich jedoch die Frage, ob bei einer Verlangsamung der Zirkulation im Kapillarkreislauf, wie sie bei Einflußstauung oder Polyglobulie gegeben sein kann, eine Differenz zwischen kapillärem und arteriellem Sauerstoffdruck auftritt. In der vorliegenden Arbeit soll dieser Frage nachgegangen werden. Außerdem soll untersucht werden, ob eine Abhängigkeit von Körperlage und vom Entnahmeort (Ohr-läppchen oder Fingerbeere) besteht.

II. Meßmethodik, Versuchspersonen und Versuchsbedingungen

1. Vergleich von Sauerstoffdruck im Blut aus der Arteria femoralis und aus dem Ohrläppchen.

a) Kontrollgruppe von 31 Patienten ohne Polyglobulie bzw. Einflußstauung.

In dieser Gruppe sind Gesunde und Patienten mit verschiedenen Störungen der Atmungsfunktion enthalten, bei der Auswahl der Probanden waren lediglich Polyglobulie und Einflußstauung ausgeschlossen.

b) Patienten mit Einflußstauung und/oder Polyglobulie.

Bei 10 Patienten lag eine Einflußstauung mit ausgeprägten Ödemen, Leberschwellung und deutlicher Cyanose vor. 20 Patienten wiesen eine Polyglobulie zwischen 5,9 und 8,4 Mill. Erythrocyten auf, bei 15 Fällen lag eine Polycythaemia vera vor. Bei den Patienten dieser beiden Gruppen wurde zunächst die Arteria femoralis punktiert und etwa 30 ml Blut entnommen. Die Spritzen, die einen Tropfen Liquemin enthielten, wurden nach der Abnahme sofort luftdicht verschlossen und gut geschüttelt, damit eine gute Durchmischung mit Liquemin erreicht wurde. Bis zur Messung wurden die Spritzen zur Vermeidung von Glykolyse gekühlt aufbewahrt.

Unmittelbar anschließend an die Arterienpunktion wurde Blut dem Ohrläppchen entnommen, das einige Minuten vorher mit einer hyperaemisierenden Salbe (Finalgon^R) eingerieben worden war. Mit einer Haemostilette wurde ein Stich gesetzt, von der Incisionsstelle wurde der hervorquellende Blutstropfen mit einem Kapillarröhrchen aufgefangen. Der erste Tropfen wurde stets verworfen. Die Glaskapillaren waren mit Heparin praepariert und mit einem kleinen Eisenstift

versehen (1). Nach dem luftfreien Auffüllen der Röhrrchen wurden beide Enden mit einer Wachspaste verschlossen. Mit einem Magneten, der den Eisenstift bewegte, wurde das Blut mit dem am Glas angetrockneten Heparin gut durchmischt. Bis zur Messung wurden die Glaskapillaren auf Eis gelegt

2. Arteriell-kapillärer Sauerstoffdruck der Fingerbeere bei künstlicher Stauung im Vergleich zum Ausgangswert.

Die Gruppe von Versuchspersonen bestand aus 42 herz- und lungengesunden Patienten mit normalem Allgemeinzustand. Das Patientengut war so ausgewählt, daß sich eine gleichmäßige Verteilung über alle Altersstufen von 15 bis 70 Jahren bei beiden Geschlechtern ergab. Zunächst wurde jeweils nach einer Liegezeit von zehn Minuten aus einer mit Finalgon eingeriebenen Fingerbeere Blut in Glaskapillaren abgenommen.

- a) Bei einem Staudruck am Oberarm von 10 % unter dem diastolischen Blutdruck wurde nach 3 Minuten Stauung Blut aus der gleichen Fingerbeere abgenommen.
- b) Bei einem Staudruck, der zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck lag, wurde ebenfalls nach 3 Minuten Wartezeit Blut aus der Fingerbeere entnommen.

3. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Liegen und im Stehen.

Den Patienten der gleichen Serie wurde noch im Liegen und nach 10-minütigem Stehen aus dem Ohrläppchen Blut abgenommen.

4. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Kapillarblut des Ohrläppchens und der Fingerbeere.

Der Vergleich von Fingerbeere und Ohrläppchen ist durch den Ausgangswert des Fingerbeerenblutes vor Beginn der Stauung am Oberarm und den Wert des Ohrläppchenblutes, beides im Liegen abgenommen, gegeben.

Messung

Sämtliche Messungen wurden am Micro-Kombi-Analysator der Fa. Eschweiler, Kiel, vorgenommen. Die Eichung erfolgte mit zwei Gasproben von 2,95 und 12,45 % O_2 , die vorher mittels Mikroanalyse nach SCHOLANDER (21) analysiert worden waren. Darauf wurde Arterien- oder Venenblut des Patienten in einem Kugeltometer nach LAUE (14) 20 Minuten lang mit dem sauerstoffreicheren Eichgas äquilibriert und eine weitere Eichung mit diesem Blut durchgeführt.

Die Elektrode wurde mit dem Arterienblut aus der Spritze mittels eines kleinen Kunststoffschlauches gefüllt, das Kapillarblut wurde direkt aus den Glaskapillaren in die Elektrode entleert. Dabei wurde besonderes Augenmerk darauf gerichtet, daß sich am Elektrodenkopf keine Luftblase bildete. Durch einen Oszillator, der über einen Schlauch mit dem Absaugstutzen der Elektrode verbunden war, wurde das Blut in ständiger leichter Bewegung gehalten.

Nun wurde am Meßgerät die Anzeige beobachtet und nach Stillstand des Zeigers, spätestens nach einer halben Minute, der Meßwert abgelesen. Von jedem Wert wurden in der Regel 5, mindestens aber drei Einzelmessungen vorgenommen, die dann gemittelt wurden. Die Eichung des Gerätes wurde in Abständen von höchstens 10 min. kontrolliert.

Statistische Berechnung

Die statistischen Ergebnisse wurden nach der STUDENT-Verteilung und mit dem t-Test ermittelt (15). Zum Vergleich zweier Gruppen wurde die Nullhypothese aufgestellt, d.h. die Hypothese, daß die verglichenen Werte übereinstimmen, die dann verworfen wurde, wenn die Wahrscheinlichkeit P für die Übereinstimmung kleiner als 0,05 war.

Folgende Formeln und Symbole fanden Verwendung:

$x; y$ Werte der Einzelmessung
 n Zahl der Einzelmessungen
 $\bar{x}; \bar{y}$ Mittelwert der Einzelmessungen
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

s_x Standardabweichung der Einzelwerte x
$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$s_{\bar{x}}$ Standardabweichung des Mittelwertes $\bar{x}$
$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

X;Y Regressionsgerade

$$X = a_{xy} + b_{xy}y$$

b_{xy} Regressionskoeffizient

$$b_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x}) \sum (y - \bar{y})}{\sum (y - \bar{y})}$$

r Korrelationskoeffizient

$$r = \sqrt{b_{xy} \cdot b_{yx}}$$

t Abweichung vom Median der Verteilungskurve für P

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s_d}$$

$$s_d = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$

Zur Überprüfung der Übereinstimmung der Mittelwerte $\bar{x}$ und $\bar{y}$ wurde die Abweichung t vom Meridian der Verteilungskurve ermittelt und der Wert für die zugehörige Übereinstimmungswahrscheinlichkeit P aus der entsprechenden Tabelle entnommen.

Außer diesen mathematischen Zeichen und Formeln fanden folgende Symbole Verwendung:

PO_2	Sauerstoffpartialdruck
PO_{2a}	arterieller Sauerstoffdruck
PO_{2c}	kapillärer Sauerstoffdruck
PCO_2	Kohlendioxidpartialdruck

III. Ergebnisse

1. Korrelation zwischen dem Sauerstoffdruck des Blutes aus der Arteria femoralis und dem des Ohrläppchen-Kapillarblutes

a) Kontrollgruppe von 31 Patienten ohne Einflußstauung bzw. Polyglobulie

Der Mittelwert der Sauerstoffdrucke aus dem Blut der Arteria femoralis liegt bei $63,2 \pm 10,7$ mm Hg, der aus dem Ohrläppchenblut bei $61,9 \pm 10,9$ mm Hg. Die Differenz der beiden Mittelwerte unterscheidet sich nicht signifikant von Null ($P = 0,6$) (Tab. 1)

Die beiden Regressionsgeraden sind (Abb. 1)

$$X = 2,53 + 0,980 y;$$

$$Y = 3,03 + 0,934 x;$$

Die beiden Geraden korrelieren mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,956$ sehr gut. Somit kann die in der Literatur (5, 23, 27, 28) beschriebene Übereinstimmung zwischen dem arteriellen und dem arteriell-kapillären Sauerstoffdruck bestätigt werden.

b) Testgruppe von 30 Patienten mit Einflußstauung bzw. Polycythaemia vera oder symptomatischer Polyglobulie (Tab. 2)

Der Mittelwert der Sauerstoffdrucke im Blut der Arteria femoralis unterscheidet sich mit $73,7 \pm 12,7$ mm Hg um 4,5 mm Hg vom Mittelwert der Sauerstoffdrucke im Ohr-läppchenkapillarblut, der $69,2 \pm 11,3$ mm Hg beträgt.

Tabelle 1

Korrelation zwischem dem Sauerstoffdruck im Arterienblut und im Kapillarblut des Ohr läppchens bei 31 Patienten ohne Einflußstauung und Polyglobulie.

Vers. P.	PO _{2a} mm Hg	PO _{2c} mm Hg
1 A.B.	42,0	43,0
2 B.C.	46,0	47,0
3 C.D.	50,0	49,0
4 D.E.	51,0	48,0
5 E.F.	51,0	50,0
6 F.G.	51,0	51,0
7 G.H.	51,0	52,0
8 H.I.	53,0	58,0
9 I.J.	56,0	50,0
10 J.K.	56,0	52,0
11 K.L.	57,0	57,0
12 L.M.	58,0	58,0
13 M.N.	59,0	59,0
14 N.O.	60,0	67,0
15 O.P.	64,0	60,0
16 P.Q.	64,0	61,0
17 Q.R.	64,0	62,0
18 R.S.	64,0	63,0
19 S.T.	66,0	64,0
20 T.U.	66,0	66,0
21 U.V.	66,0	68,0
22 V.W.	67,0	62,0
23 W.X.	70,0	63,0
24 X.Y.	71,0	64,0
25 Y.Z.	71,0	65,0
26 Z.A.	71,0	69,0
27 A.C.	73,0	68,0
28 B.D.	74,0	75,0
29 C.E.	80,0	78,0
30 D.F.	85,0	87,0
31 E.G.	86,0	90,0

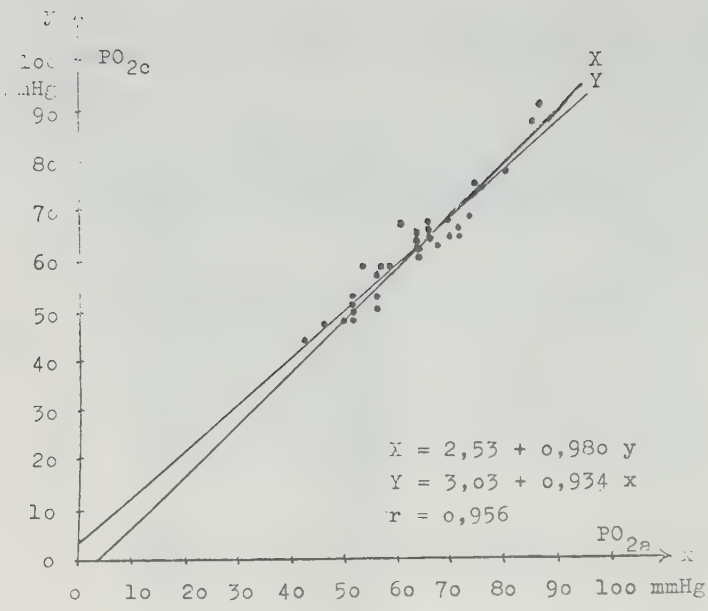


Abb. 1: Korrelation zwischem dem Sauerstoffdruck im Arterienblut
 und im Kapillarblut des Ohrläppchens bei 31 Patienten
 ohne Einflußstauung und Polyglobulie.

Tabelle 2

Korrelation zwischem dem Sauerstoffdruck des Blutes aus der Arteria femoralis und des Ohrläppchenkapillarblut bei Patienten mit Einflußstauung und Polyglobulie

Vers.P.	Alt.	Geschl.	Diagnose	Ery Mill/ml	Hb g%	PO _{2a} mmHg	PO _{2c} mmHg
1 K.B.	45	m	Einflußstauung	5,19	17,0	78,0	68,0
2 U.G.	57	m	"	4,5	14,8	53,8	52,2
3 H.J.	47	m	"	4,96	15,0	50,0	51,6
4 W.J.	57	m	"	4,8	14,3	75,6	63,8
5 O.K.	49	w	"	5,3	15,9	58,6	56,6
6 M.K.	66	m	"	5,2	15,3	51,9	64,9
7 V.F.	67	m	"	4,8	14,8	45,4	45,0
8 H.F.	66	m	"	5,4	14,3	64,6	60,4
9 L.H.	72	w	"	5,0	16,4	32,0	35,5
10 R.M.	48	m	"	4,3	13,2	57,3	59,6
11 W.J.	61	m	Sympt.Polyglobulie	5,91	18,4	61,0	60,0
12 D.M.	43	m	"	6,5	19,0	51,6	49,4
13 H.A.	55	m	"	5,6	18,0	73,6	63,6
14 W.F.	28	m	"	5,6	17,5	75,6	75,0
15 H.W.	45	w	"	5,9	16,9	73,0	67,3
16 K.J.	45	m	Polycythaemia vera	6,0	15,7	51,2	47,8
17 K.A.	50	m	"	6,47	17,8	60,4	60,2
18 W.A.	34	m	"	6,12	19,0	70,2	68,8
19 S.O.	72	w	"	6,4	17,2	85,6	67,6
20 L.J.	53	m	"	6,28	20,6	92,8	84,8
21 H.E.	57	m	"	6,3	19	66,8	72,0
22 S.M.	65	w	"	6,2	19,3	79,3	69,3
23 L.F.	42	w	"	8,6	23,4	74,8	72,4
24 S.A.	53	m	"	6,87	20,3	67,0	72,5
25 O.E.	72	w	"	6,93	20,0	67,5	66,3
26 W.C.	65	w	"	6,67	22,1	80,6	77,0
27 S.A.	42	m	"	6,95	23,0	73,8	71,5
28 G.C.	54	m	"	6,9	20,7	77,9	70,9
29 S.U.	49	m	"	6,3	19,2	102,0	97,8
30 H.L.	54	w	"	5,9	18,3	87,5	76,5

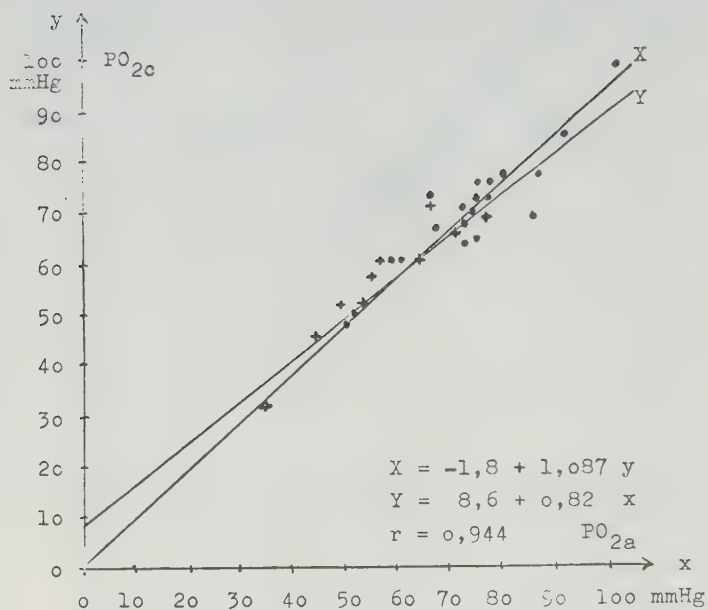


Abb. 2: Korrelation zwischen dem Sauerstoffdruck des Blutes aus der Arteria femoralis und des Kapillarblutes aus dem Ohrfläppchen bei 10 Patienten mit Einflußstauung (+) und 20 Patienten mit Polyglobulie (*)

Der Unterschied ist nicht signifikant ($P = 0,2$)

Die beiden Regressionsgeraden sind (Abb. 2)

$$X = 1,8 + 1,087 y;$$

$$Y = 8,6 + 0,82 x;$$

Der Korrelationskoeffizient $r = 0,944$ zeigt eine gute Korrelation der beiden Geraden.

Aus den ermittelten Werten kann man auf eine Übereinstimmung zwischen arteriellen und kapillären Sauerstoffdrücken auch bei dieser Gruppe schließen.

Eine getrennte statistische Auswertung der vorangehenden gemischten Gruppe von Patienten mit Einflußstauung einerseits und von Patienten mit Polyglobulie andererseits ist trotz der kleinen Zahl der Einzelwerte insofern von Interesse, als unterschiedliche zirkulatorische-hydrostatische bzw. mikrozirkulatorische Störungen vorliegen:

- b₁) Bei 10 Patienten mit Einflußstauung lassen sich die Mittelwerte der arteriellen Sauerstoffspannung von $58,9 \pm 13,9$ mm Hg und der kapillären Sauerstoffspannung von $56,5 \pm 11,6$ mm Hg nicht voneinander unterscheiden. die Differenz beträgt 2,3 mm Hg ($P = 0,7$).

Die beiden Regressionsgeraden sind

$$X = 2,7 + 1,088 y;$$

$$Y = 9,3 + 0,806 x;$$

Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,972;

- b₂) Bei 20 Patienten mit Polycythaemie oder Polyglobulie beträgt der Mittelwert der arteriellen Sauerstoffdrucke $73,7 \pm 12,7$ mm Hg, im Kapillarblut $69,2 \pm 11,3$ mm Hg. Der Unterschied von 4,5 mm Hg ist nicht signifikant ($P = 0,3$)

Die beiden Geraden korrelieren mit einem Koeffizienten von $r = 0,925$

$$X = 1,0 + 1,05 y;$$

$$Y = 9,0 + 0,816 x;$$

Bei der Gegenüberstellung der beiden Teilkollektive zeigt sich, daß der Mittelwert der Sauerstoffdrucke im Blut der Arteria femoralis bei Einflußstauung im Durchschnitt um 14,8 mm Hg tiefer liegt als bei der Polyglobulie. Die Meßwerte verteilen sich bei Einflußstauung mehr über hypoxische, bei Polycythaemie und Polyglobulie mehr über normoxische Werte.

Die Regressionsgeraden stimmen gut überein. Bei der Betrachtung der Einzelmessungen fällt aber auf, daß bei der Gruppe mit Polyglobulie mit einer Ausnahme alle arteriellen Werte über den kapillären liegen, bei der weiten Streuung der Meßwerte gelingt aber eine statistische Sicherung des Unterschiedes nicht.

c) Gegenüberstellung der Differenzen der Mittelwerte des arteriellen und des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes bei der Kontrollgruppe einerseits und der Testgruppe mit Einflußstauung bzw. Polyglobulie andererseits

Ein Unterschied in der Übereinstimmung von arteriellen und kapillären Sauerstoffdruck zwischen beiden Gruppen konnte nicht gefunden werden. Bei einem P von 0,5 besteht keine signifikante Mittelwertsdifferenz. Auch ein Vergleich der beiden Korrelationskoeffizienten zeigte keinen signifikanten Unterschied. Somit läßt sich anhand der gewonnenen Ergebnisse kein Einfluß von Polyglobulie oder Einflußstauung auf den Sauerstoffdruck im Blut des hyperaemisierten Ohr-läppchens beweisen. Der geringe Unterschied zwischen arteriellen und kapillären Sauerstoffdrücken bei Polycythaemia vera müßte an einem größeren Kollektiv überprüft werden.

2. Arteriell-kapillärer Sauerstoffdruck des Fingerbeeren-
blutes bei künstlicher Stauung im Vergleich zum Ausgangswert.

a) Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke bei unbehindertem
und gestautem venösen Abfluß. (Staudruck 10 % unter dem
diastolischen Blutdruck) (Tab. 3)

Bei 32 Versuchspersonen liegt der Sauerstoffdruck des Kapillarblutes der Fingerbeere ohne Stauung bei einem Mittelwert von $62,3 \pm 5,3$ mm Hg. Bei einem Staudruck von 10 % unter dem diastolischen Blutdruck wird im Blut der Fingerbeere ein Mittelwert von $59,9 \pm 6,5$ mm Hg gefunden. Der Unterschied von 2,4 mm Hg ist mit $P = 0,1$ nicht signifikant. Die beiden Regressionsgeraden sind (Abb. 3)

$$X = 25,6 + 0,614 y;$$

$$Y = 0,2 + 0,956 x;$$

Die Korrelation der beiden Geraden beträgt 0,761.

Die Stauung am Oberarm, die über dem Venendruck und unter dem diastolischen Blutdruck liegt, verändert nach diesen Ergebnissen den Sauerstoffdruck im Fingerbeerenkapillarblut wahrscheinlich nicht.

b) Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke bei unbehindertem
und bei gestautem venösen Abfluß (Staudruck zwischen diasto-
lischem und systolischem Blutdruck) (Tab. 4)

Bei 35 Patienten wurde bei Stauung am Oberarm über dem diastolischen Blutdruck im Kapillarblut der Fingerbeere ein Sauerstoffdruck $55,8 \pm 10,5$ mm Hg gemessen. Der Ausgangswert ohne Stauung ist $62,5 \pm 5,2$ mm Hg. Der Unterschied von 6,7 mm Hg ist mit einem $P = 0,001$ hochsignifikant.

Tabelle 3

Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke im Fingerbeerenblut bei unbehindertem und behindertem venösen Rückfluß (Staudruck 10 % unter dem diastolischen Blutdruck)

Vers.P.	Alt.	Geschl.	Diagnose	ungestaut PO ₂ mm Hg	gestaut PO ₂ mm Hg
1 B.E.	33	w	Diabetes mellitus	62,3	60,4
2 B.K.	18	m	Diabetes mellitus	69,5	66,3
3 E.P.	40	m	Hypertonus	55,1	52,8
4 O.K.	68	m	Blasenkarzinom	56,5	45,2
5 J.D.	47	m	Colon spasticum	62,0	45,2
6 K.O.	26	m	Chron. Gastritis	67,1	57,3
7 L.A.	74	m	Cholecystitis	60,9	55,7
8 W.E.	46	w	Lues latens	59,6	61,0
9 B.F.	36	m	Fettleber	61,9	47,3
10 B.E.	17	m	Juveniler Hypertonus	64,5	62,3
11 S.E.	17	w	Adipositas	67,9	64,5
12 W.G.	41	m	Colitis ulcerosa	70,3	71,4
13 L.H.	35	m	Chron. Gastritis	62,3	62,1
14 H.J.	62	m	Atrophische Gastritis	66,2	61,7
15 B.C.	39	w	Diabetes mellitus	57,7	56,6
16 K.A.	15	m	Harnwegsinfekt	69,5	60,9
17 S.I.	58	m	Magenkarzinom	65,3	64,0
18 K.U.	15	w	Adreno-genitales Syndrom	69,5	60,9
19 L.A.	29	w	Lipoidnephrose	62,7	63,8
20 K.A.	34	w	Cholelithiasis	80,5	74,8
21 B.C.	24	w	Cholecystitis	62,4	66,4
22 J.K.	58	m	Colon-Karzinom	53,5	53,1
23 F.K.	53	m	Atrophische Gastritis	56,6	54,0
24 L.A.	34	m	Colon spasticum	62,7	63,8
25 H.M.	38	m	Pankreatitis	61,3	55,4
26 S.H.	42	w	Osteoporose	56,7	57,2
27 B.E.	44	w	Chron. Pyelonephritis	60,1	61,0
28 H.A.	32	m	Haemosiderose	59,1	60,1
29 S.A.	66	w	Lymphatische Leukämie	69,7	68,1
30 K.J.	72	m	Bronchial-Karzinom	63,5	60,5
31 C.H.	29	w	Asthma bronchiale	62,3	61,8
32 B.G.	77	w	Primär chron. Polyarthrit	58,5	61,3

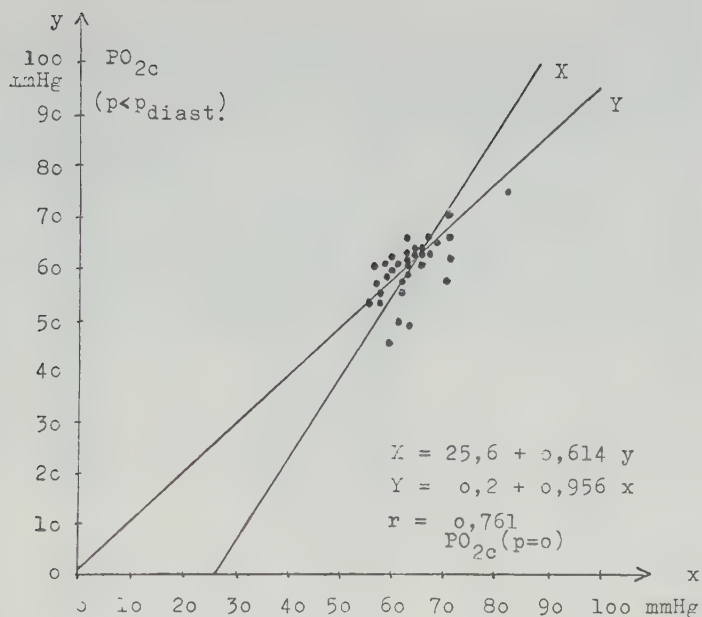


Abb. 3: Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke aus der Fingerbeere
 bei unbehindertem und gestautem venösen Abfluß
 (Staudruck 10 % unter dem diastolischen Blutdruck)

Tabelle 4

Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke im Fingerbeerenblut bei unbehindertem und behindertem venösen Rückfluß (Staudruck zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck)

Vers.P.	Alt.	Geschl.	Diagnose	ungestaut PO ₂ mm Hg	gestaut PO ₂ mm Hg
1 S.M.	31	w	Z.n. Peritonitis	62,7	55,2
2 E.J.	27	m	Fettleber	67,0	63,7
3 Z.U.	17	m	Chron. Harnwegsinfekt	62,3	63,1
4 B.E.	33	w	Diabetes mellitus	62,3	63,0
5 B.K.	18	m	Diabetes mellitus	69,5	64,3
6 F.P.	40	m	Hyperthyreose	55,1	34,8
7 O.K.	68	m	Blasenkarzinom	56,5	35,5
8 J.P.	47	m	Colon spasticum	62,0	35,5
9 K.O.	26	m	Chron. Gastritis	67,1	57,3
10 L.A.	74	m	Cholecystitis	60,9	37,2
11 W.E.	46	w	Lues latens	59,6	55,9
12 B.F.	36	m	Fettleber	61,9	46,6
13 B.E.	17	m	Juveniler Hypertonus	64,5	64,7
14 S.E.	17	w	Adipositas	67,9	60,3
15 W.G.	41	m	Colitis ulcerosa	70,2	65,8
16 L.H.	35	m	Atrophische Gastritis	62,3	62,3
17 H.J.	62	m	Chronische Gastritis	66,2	60,1
18 B.C.	39	w	Diabetes mellitus	56,7	55,0
19 K.A.	15	m	Harnwegsinfekt	69,5	66,2
20 S.I.	58	m	Magenkarzinom	65,3	30,5
21 K.U.	15	w	Adreno-genitales Syndrom	69,5	66,2
22 L.A.	29	w	Lipoidnephrose	62,7	62,0
23 K.A.	34	w	Cholelithiasis	80,5	72,4
24 B.C.	24	w	Cholecystitis	62,4	66,5
25 J.K.	58	m	Colon-Karzinom	53,5	44,1
26 F.K.	53	m	Atrophische Gastritis	56,6	44,0
27 L.A.	34	m	Colon spasticum	62,7	62,0
28 H.M.	38	m	Pankreatitis	61,3	42,0
29 S.H.	42	w	Osteoporose	56,7	56,7
30 B.R.	44	w	Chron. Pyelonephritis	60,1	66,2
31 H.A.	32	m	Hämosiderose	59,1	56,1
32 S.A.	66	w	Lymphatische Leukaemie	69,7	66,1
33 K.J.	72	m	Bronchial-Karzinom	63,5	60,4
34 C.H.	29	w	Asthma bronchiale	62,3	61,2
35 B.G.	77	w	Primär chron. Polyarthrit	58,5	59,0

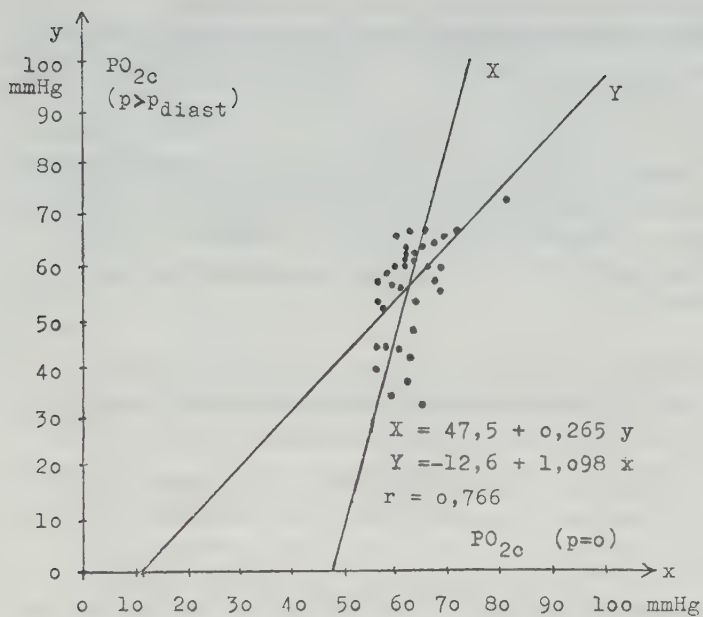


Abb. 4: Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke aus der Fingerbeere
 bei unbehindertem und bei gestautem venösen Abfluß
 (Staudruck zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck)

Die beiden Regressionsgeraden divergieren bei einem Koerrelationskoeffizienten von $r = 0,766$ deutlich (Abb. 4).

$$X = 47,5 + 0,265 y;$$

$$Y = 12,6 + 1,098 x;$$

Das Ergebnis dieser Versuchsreihe zeigt, daß durch excessive Stauung des venösen Rückflusses der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere bei einem Teil der Probanden deutlich abnimmt; der Einfluß der Stauung auf den Sauerstoffdruck ist uneinheitlich.

c) Gegenüberstellung der Differenzen zwischen dem Sauerstoffdruck im Fingerbeerenblut bei unbehindertem und behindertem venösen Abfluß bei den beiden verschiedenen Staudrücken.

Die Differenz zwischen dem Sauerstoffdruck des Fingerbeerenblutes bei gestautem und dem bei unbehindertem venösen Abfluß beträgt bei der Gruppe mit Stauung unter dem diastolischen Blutdruck 2,5 mm Hg, bei der Gruppe mit Stauung über dem diastolischen Druck 6,7 mm Hg.

Damit unterscheiden sich die beiden Gruppen signifikant ($P < 0,025$).

Eine Stauung des venösen Rückflusses erniedrigt nach den gewonnenen Resultaten bei Staudrücken über dem diastolischen Blutdruck den Sauerstoffdruck im Kapillarblut deutlich, bei Staudruck unter dem diastolischen Druck läßt sich eine Erniedrigung nicht nachweisen.

3. Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Ohrläppchenblut im Liegen und im Stehen (Tab. 5).

Der Sauerstoffdruck des Ohrläppchenkapillarblutes wurde bei 30 Patienten im Liegen im Mittel mit $70,4 \pm 9,2$ mm Hg bestimmt, nach 10 Minuten Stehen mit $70,2 \pm 8,0$ mm Hg. Die beiden Gruppen stimmen gut miteinander überein ($P = 0,9$).

Die beiden Regressionsgeraden sind (Abb. 5).

$$X = 6,3 + 0,912 y;$$

$$Y = 20,3 + 0,696 x;$$

Die beiden Geraden korrelieren bei einem Koeffizienten von $r = 0,796$.

Die Körperlage hat nach diesen Ergebnissen keinen Einfluß auf die Sauerstoffspannung im Ohrläppchenblut.

4. Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Kapillarblut des Ohrläppchens und der Fingerbeere (Tab. 6)

Bei 23 Patienten wurde der Sauerstoffdruck des Kapillarblutes aus dem Ohrläppchen und aus der Fingerbeere jeweils im Liegen verglichen. Im Ohrläppchen wurde er mit $70,9 \pm 9,8$ mm Hg bestimmt, in der Fingerbeere mit $62,6 \pm 5,7$ mm Hg. Die Differenz von 8,3 mm Hg ist mit $P = 0,001$ hochsignifikant.

Die Korrelation der beiden Geraden (Abb. 6)

$$X = 11,7 + 0,947 y;$$

$$Y = 42,6 + 0,31 x;$$

beträgt $r = 0,543$.

Tabelle 5

Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke des Ohrläppchenblutes
im Liegen und im Stehen

Ver.P.	Alt.	Geschl.	Diagnose	Liegen PO ₂ mm Hg	Stehen PO ₂ mm Hg
1 B.E.	17	m	Juveniler Hypertonus	63,6	67,1
2 S.E.	17	w	Adipositas	77,8	70,9
3 W.G.	41	m	Colitis ulcerosa	84,7	73,0
4 L.H.	35	m	Chron. Gastritis	69,4	58,8
5 H.J.	62	m	Atrophische Gastritis	76,2	70,0
6 B.C.	39	w	Diabetes mellitus	59,7	66,6
7 K.A.	15	m	Harnwegsinfekt	70,4	69,6
8 S.I.	58	m	Magen-Karzinom	68,0	72,2
9 K.U.	15	w	Adreno-genitales Syndrom	70,4	69,6
10 L.A.	29	w	Lipoidnephrose	71,5	70,5
11 K.A.	34	w	Cholelithiasis	83,7	87,0
12 B.C.	24	w	Cholecystitis	94,9	86,2
13 J.K.	58	m	Colon-Karzinom	53,6	56,3
14 F.K.	53	m	Atrophische Gastritis	62,3	63,0
15 L.A.	34	m	Colon spasticum	71,5	70,5
16 H.M.	38	m	Pankreatitis	72,4	75,5
17 S.H.	42	w	Osteoporose	67,6	68,1
18 B.E.	44	w	Chron. Pyelonephritis	76,8	72,1
19 H.A.	32	m	Hämosiderose	69,1	72,1
20 S.A.	66	w	Lymphatische Leukaemie	69,1	70,3
21 K.J.	72	m	Bronchial-Karzinom	72,7	76,1
22 C.H.	29	w	Asthma bronchiale	79,8	76,9
23 B.G.	77	w	Prim.chron.Polyarthritits	66,2	70,4
24 N.R.	73	w	Malignes Melanom	65,9	60,0
25 V.A.	67	w	Diabetes mellitus	59,7	61,2
26 H.A.	62	m	Fettleber	61,8	64,8
27 K.J.	27	m	Malabsorptionssyndrom	73,3	72,4
28 F.T.	35	w	Harnwegsinfekt	78,2	73,6
29 S.W.	30	m	Chron. Gastritis	70,8	69,6
30 S.A.	38	m	M. Hodgkin	71,5	73,4

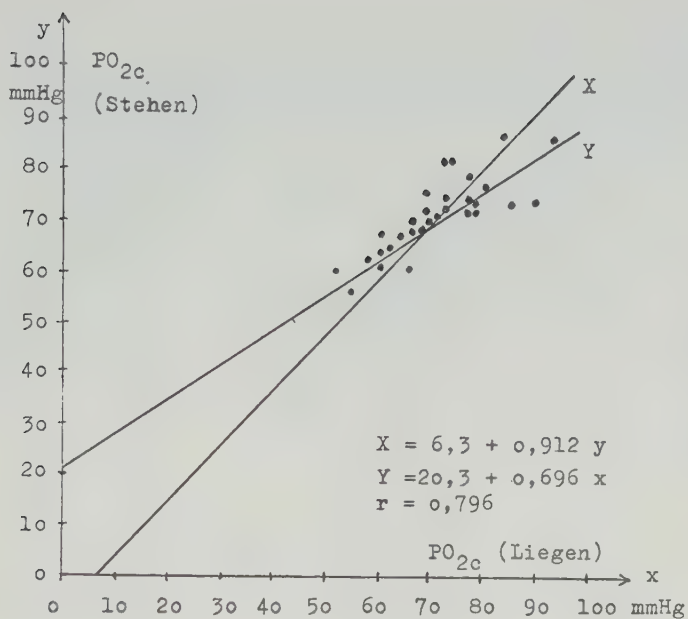


Abb. 5: Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Ohrfläpchenblut im Liegen und im Stehen

Tabelle 6

Vergleich der kapillären Sauerstoffdrucke im Ohrläppchen- und im Fingerbeerenblut

Ver.P.	Alt.	Geschl.	Diagnose	Fingerbeere PO ₂ mmHg	Ohrläppchen PO ₂ mm Hg
1 B.W.	17	m	Juveniler Hypertonus	64,5	63,6
2 S.E.	17	w	Adipositas	67,9	77,8
3 W.G.	41	m	Colitis ulcerosa	70,3	84,7
4 L.H.	35	m	Chron. Gastritis	62,3	69,4
5 H.J.	62	m	Atrophische Gastritis	66,2	76,2
6 B.C.	39	w	Diabetes mellitus	57,7	59,7
7 K.A.	15	m	Harnwegsinfekt	69,5	70,4
8 S.I.	58	m	Magen-Karzinom	65,3	68,0
9 K.U.	15	w	Adreno-genitales Syndrom	69,5	70,4
10 L.A.	29	w	Lipoidnephrose	62,7	71,5
11 K.A.	34	w	Cholelithiasis	80,5	83,7
12 B.C.	24	w	Cholecystitis	62,4	94,9
13 J.K.	58	m	Colon-Karzinom	53,5	53,6
14 F.K.	53	m	Atrophische Gastritis	56,5	63,3
15 L.A.	34	m	Colon spasticum	62,7	71,2
16 H.M.	38	m	Pankreatitis	61,3	72,4
17 S.H.	42	w	Osteoporose	56,7	67,6
18 B.E.	44	w	Prim.chron.Polyarthrit	60,1	76,8
19 H.A.	32	m	Hämosiderose	59,1	69,1
20 S.A.	66	w	Lymphatische Leukaemie	69,7	69,1
21 K.H.	72	m	Bronchial-Karzinom	63,5	73,7
22 C.H.	29	w	Asthma bronchiale	62,3	79,8
23 B.G.	77	w	Prim.chron.Polyarthrit	58,5	66,2

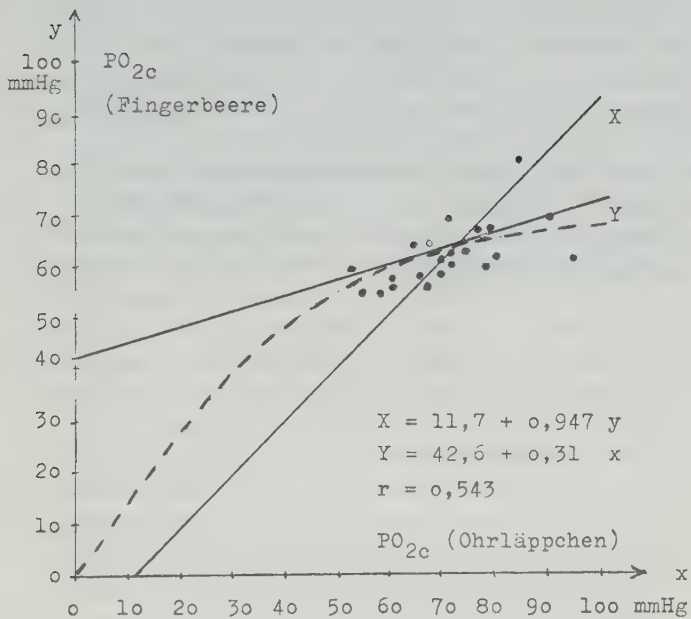


Abb. 6: Korrelation des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Kapillarblut des Ohrläppchens und der Fingerbeere.

Die gestrichelte Kurve stellt ein hypothetisches Diagramm mit einem steilen Schenkel im hypoxischen Bereich und einem flacher verlaufenden Schenkel im normoxischen Bereich dar (vgl. Text)

Nach diesem Ergebnis ist der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere nicht mit dem Ohr läppchenkapillarblut und demzufolge auch nicht mit dem Blut der Arteria femoralis vergleichbar. Es fällt auf, daß die Vergleichsmessungen besonders im normoxischen Bereich stark differieren, im Bereich unter 60 mm Hg jedoch übereinstimmen. Werte unter 50 mm Hg wurden nicht gemessen. Auch im stärker hypoxischen Bereich unter 50 mm Hg dürften die Sauerstoffdrucke mit dem Ohr läppchenblut übereinstimmen.

IV. Diskussion

1. Korrelation zwischen Sauerstoffdruck im Arterien- und Kapillarblut

a) Bei 31 Patienten, bei denen eine Polyglobulie oder eine Einflußstauung ausgeschlossen worden war, wurde eine gute Übereinstimmung des Sauerstoffdruckes im Kapillar- und Arterienblut gefunden. Damit wurde die in der Literatur beschriebene Übereinstimmung bestätigt (5, 23, 27, 28). Die aus diesem Ergebnis gefolgerte Annahme, daß Arterien- und Kapillarblut des Ohr läppchens miteinander verglichen werden können, wird auch durch Vergleiche von PCO_2 und P_H im arteriellen und kapillären Blut gestützt (5, 8, 24, 27, 28). STAMM (22) untersuchte Säuglinge und Kleinkinder mit kongenitalen Herzviti en und konnte keinen Unterschied zwischen kapillärem und arteriellem Sauerstoffdruck finden. GILLIAN et al. (10) fanden für PCO_2 und P_H bei herzkranken Neugeborenen mit einem Alter von weniger als 3 Stunden eine signifikante Differenz, die sich bei einem Alter von mehr als drei Stunden nicht mehr sichern ließ. Dagegen differierte der Sauerstoffdruck im arteriellen und kapillären Blut nicht signifikant.

ULMER et al. (28) bestätigen die Übereinstimmung von Arterien- und Kapillarblut auch unter Belastung. Außerdem gingen sie der Frage nach, wieweit durch die Technik der Blutabnahme aus dem Ohr läppchen eine Verflälschung der Meßergebnisse durch den Kontakt mit der Luft gegenüber der Abnahme mit der Spritze gegeben ist und fanden eine geringe Abweichung für den Kohlen säuredruck, eine unbedeutende für den Sauerstoffdruck. Allerdings ist nach FABEL (9) bei nicht exakt gleichzeitiger Blutentnahme aus dem Ohr läppchen und der Arterie durch Hyperventilation aufgrund der Schmerzreaktion mit einer gewissen Differenz zu rechnen.

In verschiedenen Untersuchungen über den Einfluß des Alters wurde mit zunehmendem Alter stärkere Erniedrigung des kapillären Sauerstoffdrucks gefunden (13, 16, 30).

b) Die vorliegenden Untersuchungen gingen von der Fragestellung aus,

ob die Übereinstimmung des Sauerstoffdruckes im arteriellen und kapillären Blut nicht nur für Vergleichskollektive von Gesunden, sowohl unter Ruhe- als auch Belastungsbedingungen, sondern auch für bestimmte spontane pathologische Verhältnisse und experimentell modifizierte Bedingungen Gültigkeit hat (29). Im Vordergrund steht die Überlegung, daß eine Differenz zwischen arteriellem und kapillärem Sauerstoffdruck außer durch falsche Abnahmetechnik oder Eröffnung postkapillärer Venolen auch durch eine venöse Beimischung infolge einer veränderten terminalen Zirkulation zustande kommen könnte (17). Dies ist z.B. bei verlangsamter kapillärer Zirkulation mit postkapillärer venöser Stase und bei erhöhtem peripheren Venendruck möglich. Hierzu wurde im Vergleich mit einer Kontrollgruppe je eine Serie von 20 Patienten mit symptomatischer Polyglobulie, Polycythaemia vera und erhöhtem Haematokrit sowie 10 Patienten mit kardialer Einflußstauung untersucht. Bei dieser Gruppe wurde kein signifikanter Unterschied zwischen dem Sauerstoffdruck des Arterien- und Ohrläppchenkapillarblutes gefunden. Dieses Ergebnis entspricht auch dem Befund bei der Kontrollgruppe von 31 Patienten, die sich zum größten Teil aus Kranken mit Ventilationsstörungen der Lunge, mehr oder weniger ausgeprägter arterieller Hypoxie ohne kardiale Einflußstauung oder Polyglobulie zusammensetzt.

Zwischen den beiden Test-Kollektiven läßt sich kein Unterschied in der Differenz des Sauerstoffdruckes im Arterien- und Kapillarblut finden. Sie unterscheiden sich nur im Mittelwert der Sauerstoffspannung, er liegt bei Einflußstauung (58,9 mm Hg) deutlich niedriger als bei Polyglobulie (69,2 mm Hg). Nach Abbildung 2 verteilen sich alle Meßwerte dieser Serie etwa über den gleichen Streubereich der Regressionsgeraden zwischen annähernd normoxischen und stark erniedrigten O_2 -Drucken. Eine Strömungsverlangsamung im Kapillargebiet wirkt sich offenbar nach den vorliegenden Ergebnissen nicht auf den kapillären Sauerstoffdruck aus.

2. Vergleich des kapillären Sauerstoffdruckes aus der Fingerbeere bei graduell abgestufter künstlicher Stauung des venösen Abflusses und bei ungestautem Abfluß.

Neben spontan pathologischen Bedingungen interessiert die Frage einer Beeinflussbarkeit des kapillären Sauerstoffdruckes aus dem Fingerbeerenblut durch drastische Stauung am Oberarm. Eine spontan bestehende kardiale Einflußstauung hat, wie die vorstehenden Ergebnisse gezeigt haben, keinen Einfluß auf den Sauerstoffpartialdruck des Kapillarblutes im Vergleich zum Arterienblut. Dennoch sollte der Frage einer Beeinflussbarkeit durch excessive Erhöhung des Venendruckes durch künstliche Stauung, wie sie in einer extremen, lokalen oder allgemeinen venösen Abflußbehinderung gegeben sein kann, nachgegangen werden.

Zu diesem Zweck wurde eine Serie von 32 Patienten nach Leerwertbestimmung des Sauerstoffdruckes aus der Fingerbeere unter zwei verschiedenen Stauungsbedingungen untersucht, nämlich

1. bei einer rein venösen Stauung bei einem Kompressionsdruck, der gering unter dem diastolischen Druck lag, d.h. bei noch aufrecht erhaltenem arteriellen Zufluß und

2. mit einer venösen Stauung bei zusätzlicher Behinderung des arteriellen Zustroms. Für diese Bedingung wurde ein Kompressionsdruck gewählt, der in der Mitte zwischen dem systolischen und diastolischen Druck lag.
- a) Bei Behinderung des venösen Abflusses unter Versuchsbedingung 1 ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem kapillaren Sauerstoffdruck bei freiem ($62,3 \pm 5,3$ mm Hg) und behindertem ($59,9 \pm 6,5$ mm Hg) venösen Abfluß ($p < 0,1$).
- b) Bei Erhöhung des Staudruckes über den diastolischen Wert (Bedingung 2) wurde ein hochsignifikanter Unterschied zwischen freien ($62,5 \pm 5,3$) und behindertem ($55,8 \pm 10,5$ mm Hg) venösen Abfluß und arteriellen Zufluß gefunden ($p = 0,001$).
- c) Vergleicht man die Sauerstoffdruckdifferenz, die sich bei Versuchsbedingung 1 gegenüber dem Leerwert ergibt ($2,5 \pm 1,67$ mm Hg) mit der Differenz bei Bedingung 2 gegen Leerwert ($6,7 \pm 1,98$ mm Hg), so besteht auch zwischen diesen beiden Differenzen ein signifikanter Unterschied ($p = 0,025$). Dieses leuchtet ein, da unter Versuchsbedingung 1 nur ein minimaler, nicht signifikanter Unterschied gegenüber dem Leerwert gegeben war. Der kapilläre Sauerstoffdruck nimmt ab, wenn nach der Stauung des venösen Abflusses die arterielle Zufuhr behindert wird.

Die Abnahme des kapillären Sauerstoffpartialdruckes unter dieser Bedingung läßt vermuten, daß Erhöhung des Venendruckes und Minderung des arteriellen Perfusionsdruckes eine kapilläre Stase mit der Folge stärkerer Sauerstoffausschöpfung des Kapillarblutes oder eine stärkere venöse Beimischung zum Testblut bewirkt. Daß dies der Fall ist, konnte auch in älteren oxymetrischen Verfahren nachgewiesen werden, wobei Abstauung des

arteriellen Zuflusses mit einem Manschettendruck über dem systolischen Blutdruck zu einer starken Sauerstoffuntersättigung, wenn auch nicht zu einer vollständigen Entsättigung führt (MATTHES 17).

Ähnliche Befunde eines stärker verminderten Sauerstoffpartialdruckes im Kapillarblut wurde auch unter vergleichbaren zirkulatorischen Verhältnissen im Schock gefunden (12). Es ist wahrscheinlich, daß bei stärkerer venöser Stauung mit dem Einstich in die Fingerbeere hydrostatisch erweiterte Venolen eröffnet werden. Dennoch fällt auf, daß der Sauerstoffdruck bei rein venöser Stauung im Kapillarblut nicht absinkt, so daß der Reduktion des arteriellen Perfusionsdruckes wohl doch die größere Bedeutung zukommt.

Eine vergleichbare klinische Bedingung, unter dem der sog. kapilläre Sauerstoffdruck vom arteriellen Sauerstoffdruck abweichen müßte, wäre beispielsweise eine Stenose der A. subclavia ohne genügenden Kollateralkreislauf. Die weiteren vergleichenden Untersuchungen des Sauerstoffpartialdruckes im Ohrläppchenkapillarblut und Fingerblut haben gezeigt, daß die Blutentnahme aus der Fingerbeere für gasanalytische Zwecke schon deshalb nicht geeignet ist, weil von vornherein auch die Leerwerte des Sauerstoffdruckes im Fingerbeerenkapillarblut signifikant unter dem Sauerstoffdruck des Ohrläppchen- und Arterienblutes liegen.

3. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes aus dem Ohr-läppchenblut im Liegen und im Stehen.

Zwischen dem arteriell-kapillären Sauerstoffdruck im Ohrläppchenblut im Liegen ($70,4 \pm 9,2$ mm Hg) und im Stehen ($70,2 \pm 8,8$ mm Hg) läßt sich kein signifikanter Unterschied finden ($p = 0,9$), die Werte stimmen bei einer Differenz von 0,2 mm Hg und fast gleich großer Standardabweichung gut überein. Die Blutproben waren nach einer Liegezeit von

20 Minuten und anschließend 10-minütigem Stehen entnommen worden. Es wäre allerdings zumindest bei Adipösen zu erwarten, daß durch den Zwerchfelldruck im Liegen eine Erniedrigung des arteriellen Sauerstoffdruckes bedingt würde (ZEILHOFER und HOFMANN, 31). Andere Autoren beobachteten bei Normalgewichtigen im Liegen höhere Sauerstoffdrucke als im Stehen und führen dies auf eine schlechtere Durchblutung der Oberfelder im Stehen zurück (25, 26, 30).

4. Vergleich des arteriell-kapillären Sauerstoffdruckes im Fingerbeeren- und im Ohrläppchenblut.

Eine wesentliche Bedeutung für die Beurteilung und Realität der Sauerstoffdruckmessung hat die Entnahmestelle. Aus experimentellen oder klinischen Umständen kann es sich ergeben, daß die Entnahme von Kapillarblut aus dem Ohrläppchen nicht möglich ist und deshalb die Blutentnahme aus der Fingerbeere vorgenommen wird. Eine identische Vascularisierung des Ohrläppchens und der Fingerbeere kann nicht vorausgesetzt werden, weil die Gefäßarchitektur der Fingerbeere Besonderheiten in Form von arterio-venösen Anastomosen bzw. Sperrarterien aufweist. Hinzu kommen bei bestimmten hypoxämischen kardio-pulmonalen Erkrankungen anatomische Veränderungen im Sinne der Osteopathie hypertrophique pneumonique PIERRE-MARIE-BAMBERGER bzw. der Trommelschlägerfinger.

Auch die Schichtdicke der Haut verändert die Blutentnahmebedingungen an der Fingerbeere gegenüber dem Ohrläppchen.

Es war deshalb der Frage nachzugehen, ob der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere mit dem im Kapillarblut des Ohrläppchens übereinstimmt. Dabei ergab sich zwischen dem Sauerstoffpartialdruck des Kapillarblutes der Fingerbeere ($62,6 \pm 5,7$ mm Hg) und aus dem des Ohrläppchens ($70,9 \pm 9,8$ mm Hg) ein hochsignifikanter Unterschied bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,001$.

Wenn der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere signifikant niedriger ist als im Kapillarblut des Ohrläppchens, so muß im Finger eine Beimischung von venösem Blut zur Blutprobe stattgefunden haben. Hierfür sind folgende Ursachen zu diskutieren:

Die Hautbeschaffenheit erfordert einen tieferen und breiteren Einstich an der Fingerbeere gegenüber dem Ohrläppchen. Möglicherweise könnten hier Venolen eröffnet werden (17). Trifft dies zu, so ist das vermutlich aber eher wiederum mit einer andersartigen Vascularisation als durch die veränderten Blutabnahmebedingungen zu erklären.

Die die Arterien begleitenden Venen sind sowohl volar als auch dorsal durch kleinere Zweige verbunden, so daß auf beiden Seiten ein venöses Netz entsteht, das gegenüber den Arterien in einer oberflächlichen Schicht der Subcutis liegt. Im Ohrläppchen wird dagegen jede Arterie von nur einer Vene begleitet (19). Beim Einstich mit der Nadel werden also am Finger mehr Venen eröffnet als am Ohrläppchen, auch durch die oberflächlichere Lage tritt mehr venöses Blut aus der Incisionsstelle aus.

Ähnliche Unterschiede, wie in der vorliegenden Untersuchung bei der blutigen Sauerstoffpartialdruckmessung ergeben sich auch in der unblutigen Transmissionsoxydometrie bei Vergleich der O_2 -Sättigungswerte am Finger und Ohrläppchen. MATTHES fand, daß die am Finger oxymetrisch gefundenen Sättigungswerte durch periphere Vorgänge beeinflusst werden, während dies am Ohrläppchen nicht der Fall ist (17). Auch wird eine optimale arterielle Perfusion im Kapillargebiet durch Hyperaemisierung mit Histaminiontophorese oder mit Heparinoiden (in unseren Versuchen Finalgon^R) am Ohrläppchen besser erzielt als an anderen Stellen, z.B. am Finger.

Wegen des relativ schmalen Spektrums der Sauerstoffpartialdruckwerte in der Untersuchungsserie (vgl. Abb. 6) ergaben sich zwischen Fingerbeere und Ohr läppchen zwei stark divergierende Regressionsgerade. Würde man ein lineares Verhalten dieser Diskrepanz zwischen Ohr läppchen und Fingerbeere annehmen, so wäre zu folgern, daß im normoxischen, mäßig hypoxischen und hyperoxischen Bereichen die Sauerstoffdruckwerte der Fingerbeere niedriger sind als die des Ohr läppchens, wie dies auch festgestellt wurde. Im unteren, stark hypoxischen Bereich der Regressionsgeraden Y wären die Sauerstoffpartialdrucke paradoxerweise höher als im Kapillarblut des Ohr läppchens, bzw. im Arterienblut. Dieses Paradoxon ist weder physiologischer- noch pathophysiologischerweise vorstellbar. Die starke Divergenz der Regressionsgeraden kann zunächst nur als ein statistischer Befund infolge der relativ kleinen Zahl vor allem im hypoxischen Bereich bei einem Streubereich vorwiegend zwischen 50 und 90 mm Hg bewertet werden. Es ist zu vermuten, daß bei Ausweitung der Untersuchungsserie auf Fälle mit stark hypoxämischen Werten, ein anderer Verlauf der Regressionsgeraden oder sogar eine alineare Kurve resultieren würde. Das tatsächliche Korrelationsdiagramm dürfte bei Erweiterung der Meßergebnisse auch auf hypoxämische Werte einer Kurve entsprechen, die sich theoretisch aus einem flach verlaufenden Schenkel im Bereich zwischen 50 und 100 mm Hg - entsprechend dem oberen Anteil der Geraden Y - und einem steiler verlaufenden Schenkel unterhalb von 50 mm Hg - entsprechend den unteren Anteilen der Geraden X - zusammensetzt.

Dies bedeutet, daß die Meßwerte des Sauerstoffpartialdruckes im hypoxämischen Bereich zwischen 20 und annähernd 50 mm Hg weitgehend übereinstimmen müßten. Der untere Schenkel der Geraden Y im hypoxischen Bereich würde paradox erhöhte kapilläre Sauerstoffdrucke im Fingerbeerenkapillarblut repräsentieren. Wenn der Sauerstoffdruck im Ohr läppchenkapillarblut mit dem arteriellen Blut übereinstimmt, was vorausgesetzt

werden kann, so ist es nicht möglich, daß der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere höher liegt als im arteriellen Blut. Der Sauerstoffdruck im Kapillarblut der Fingerbeere kann daher nur entweder mit dem Ohrläppchenblut übereinstimmen oder darunter liegen. Die Differenz der Sauerstoffdrucke im Finger- und Ohrläppchenblut dürfte umsomehr zunehmen, je höher der arterielle Sauerstoffdruck liegt. Diese Deutung kann man mit zwei Fakten begründen, nämlich mit der Charakteristik der Sauerstoffdissoziationskurve im Hypoxie- und im Normoxiebereich sowie mit den Vascularisations- und Durchblutungsverhältnissen der Endphalangen.

- a) Auswirkung der venösen Beimischung in Abhängigkeit von der Sauerstoffdissoziationskurve:

Setzt man voraus, daß an der Fingerbeere aus anatomischen oder technischen Gründen eine stärkere venöse Beimischung zum entnommenen Blutstropfen erfolgt als im Ohrläppchen, so wird eine gegebene Abnahme der Sauerstoffsättigung im norm- und hyperoxämischen Bereich infolge des flacheren Verlaufes im oberen Teil der O_2 -Dissoziationskurve einer starken Abnahme des Sauerstoffdruckes entsprechen. Im hypoxämischen Bereich - d.h. im steileren Schenkel der Kurve - dagegen entspricht einer gleichgroßen Abnahme der Sättigung eine geringe Abnahme der Sauerstoffspannung.

- b) Vascularisation und Durchblutung der Fingerbeere:

Die arterio-venösen Anastomosen der Endphalangen bezwecken bei chronischer oder akuter Hypoxämie eine Herabsetzung der Durchblutung zugunsten lebenswichtiger Organe wie des ZNS. Die Einschränkung des peripheren Gasaustausches hat unter hypoxämischen Bedingungen zur Folge, daß bei Eröffnung von a.-v.-Anastomosen ausschließlich arterielles Blut gewonnen wird. Bei geringgradiger Hypoxie oder Normoxie tritt die arterio-venöse Kurzschlußdurchblutung nicht in Tätigkeit. Unter dieser Bedingung

ist bei Eröffnung von Venolen mit einer stärkeren venösen Beimischung zum entnommenen Blut zu rechnen, intakte Kapillarperfusion und Absperrung der a.-v.-Anastomosen vorausgesetzt.

Für das Ausmaß der Differenz des Sauerstoffdruckes im Kapillarblut von Fingerbeere und Ohr läppchen dürfte eine stärkere venöse Beimischung im "Kapillarblut" der Fingerbeere verantwortlich sein. Eine Erklärung für die Beobachtung, daß die Differenz des O_2 -Druckes zwischen Fingerbeere und Ohr läppchen im normoxischen Bereich deutlich und im hypoxischen Bereich nur gering ausgeprägt ist, ergibt sich mit einer veränderten Zirkulation in den Endphalangen und/oder einer geringeren Auswirkung einer venösen Beimischung auf den O_2 -Druck im hypoxischen Bereich auf Grund der Charakteristik der O_2 -Dissoziationskurve.

Zusammenfassung

Es wurde die Frage untersucht, ob die vielfach beschriebene Übereinstimmung zwischen dem arteriellen und dem kapillären Sauerstoffdruck auch bei venösem Rückstau oder bei Polyglobulie vorausgesetzt werden kann. Bei zwanzig Patienten mit Polyglobulie und zehn mit Einflußstauung wurden der arterielle und der arteriell-kapilläre Sauerstoffdruck aus der A. femoralis und dem Ohr läppchen gleichzeitig gemessen. Außerdem wurde der Sauerstoffdruck aus dem Fingerbeerenkapillarblut nach graduell abgestufter künstlicher Stauung des venösen Abflusses des Vorderarmes mit dem Leerwert des Sauerstoffdruckes bei unbehindertem venösen Abfluß verglichen. Weiterhin wurde die Abhängigkeit des Sauerstoffdruckes im Ohr läppchenblut von der Körperlage im Liegen und im Stehen überprüft. Schließlich wurde der Sauerstoffdruck im Ohr läppchenblut mit dem im Fingerbeerenblut verglichen.

Die Korrelation zwischen arteriellem und kapillärem Sauerstoffdruck bei Polyglobulie und Einflußstauung weicht nicht von der bei Normal-kollektiven bzw. bei der Kontrollgruppe beobachteten Übereinstimmung ab, so daß unter den genannten klinischen Bedingungen mit der Messung des Sauerstoffdruckes aus dem Ohr läppchenkapillarblut eine Identifizierung mit dem arteriellen Blut statthaft ist.

Der kapilläre Sauerstoffdruck selbst kann unter extremer Behinderung des venösen Abflusses jedoch signifikant abnehmen. Der Einfluß der Körperlage ergibt keine signifikante Änderung. Dagegen fand sich ein bemerkenswerter Unterschied in Abhängigkeit von der Entnahmestelle, wobei der Sauerstoffdruck des Kapillarblutes aus der Fingerbeere signifikant niedriger als aus dem Ohr läppchen gemessen wurde. Als Ursache dieses Sachverhaltes wird eine stärkere venöse Beimischung im entnommenen Blut durch Eröffnen von Venolen und eine andersartige Vascularisierung im Bereich der Fingerbeere diskutiert.

L i t e r a t u r

1. ANDERSEN, O.S., K.JØRGENSEN, K.ENGEL and P.ASTRUP:
Sampling and storing of blood for determination
of acid-base status.
Scand.Clin.Lab.Invest. 12, 172 - 176 (1963)
2. BARTELS, H., W.BURGER, W.ESCHWEILER und D.LAUE:
"Das Haemoxytensimeter".
Pflügers Arch. ges. Physiol. 254, 137 - 142 (1951)
3. BARTELS, H. und D. LAUE: Die praktische Durchführung der potentiometrischen Messung des Sauerstoffs im Vollblut.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 254, 126 - 137 (1951)
4. BARTELS, H. und W.REINHARDT: Einfache Methode zur Sauerstoffdruckmessung im Blut mit einer kunststoffüberzogenen Platinelektrode.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 271, 105 - 114 (1960)
5. BATES, G. and T.K.OLIVER: A micromodification of the bubble method for direct determination of blood gas tensions.
J. appl. Physiol. 17, 743 - 745 (1965)
6. BRINKMANN, A., and W.G.ZYLSTRA: Determination and continous registration of the percutan oxygen saturation.
Arch. chir. neerl. 1, 177 - 192 (1949)
7. CLARK, L.C., R.C.WOLF, D.GRANGER and Z. TAYLOR:
Continous recording of blood gas tension by polarography.
J. appl. Physiol. 6, 189 - 193 (1953)
8. DOCRAT, K. and S.KENNY: The accuraty of capillary sampling for acid-base estimation.
Brit. J. Anaesth. 37, 840 - 844 (1965)

9. FABEL, H.: Die fortlaufende Registrierung des arteriellen PO_2 beim Menschen.
Arch.Kreisf.-Forsch. 57, 145 - 159 (1968)
10. GILLIAN, G., L.GRAUN, K.ADAMSON and L.S.JAMES:
The validity of pH and PCO_2 measurement in capillary samples in sick and health newborn infants.
Pediatrics 33, 192 - 197 (1964)
11. GLEICHMANN, K. und D.W.LOBBERG: Die Messung des Sauerstoffdruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der Platinelektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 271, 431 - 455 (1960)
12. KELLER, R. und H. HERZOG: Vergleich von capillären und arteriellen Blutgasanalysen bei Patienten mit Schocksymptomatik.
Klin. Wschr. 49, 54 - 55 (1971)
13. HOFER, P. und M.SCHERRER: Altersabhängigkeit des alveolären O_2 -Druckgradienten in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie.
Med. Thor. 22, 450 - 469 (1965)
14. LAUE, D.: Ein neues Tonometer zur raschen Äquilibration von Blut mit verschiedenen Gasdrücken.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 254, 142 - 143 (1951)
15. LINDNER, A.: Statistische Methoden.
Basel-Stuttgart: Birkhäuser 1960 (3. Aufl.)
16. LOEW, T. und G.THEWS: Die Altersabhängigkeit des arteriellen O_2 -Druckes bei der arbeitenden Bevölkerung.
Klin. Wschr. 40, 1093 - 1098 (1963)
17. MATTHES, K.: Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden.
Stuttgart: Thieme 1951

18. MATTHES, K. und F.GROSS: Untersuchungen über die Absorption von rotem und ultrarotem Licht durch Kohlensäuregesättigtes, sauerstoffgesättigtes und reduziertes Blut.
Arch. exp. Path. Pharmak. 191, 369 - 380 (1939)
19. PERNKOPF, K,: Topographischer Atlas des Menschen Bd. I
Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg 1943
20. PETERS, J.P. and D.D. van SLYKE:
Quantitative clinical chemistry - Bd. II: Methods
London: Ballière, Tindall and Cox 1932
21. SCHOLANDER, P.F.: A modified manometer blood gas apparatur.
Scand. Arch. Physiol. 78, 145 - 148 (1938)
22. STAMM, S.J.: Reliability of capillary blood for the measurement of PO_2 and O_2 -saturation.
Diss. of the Chest 52, 191 - 194 (1967)
23. THEWS, G.: Ein Mikroanalyseverfahren zur Bestimmung der Sauerstoffdrucke in kleinsten Blutproben.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 276, 89 - 98 (1962)
24. THEWS, G., W.BERKEL, G.REICHEL und W.T.ULMER:
Ein Mikroanalyseverfahren zur Bestimmung des PO_2 im Ohrläppchenblut .
Zit. nach 28
25. ULMER, W.T., F.HERTLE, L.KRAUS und A. MALAKISIOS:
Untersuchungen über die intraalveoläre Ventilation und über die Lageabhängigkeit des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses in der Lunge.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 275, 628 - 645 (1962)
26. ULMER, W.T. und G. REICHEL: Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der alveolären Sauerstoff- und Kohlensäuredrucke.
Klin. Wschr. 41, 1 - 6 (1963)

27. ULMER, W.T. und G.REICHEL: Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdruck im arteriellen und im Ohrläppchenkapillarblut mit stabilisierten Mikroelektroden.
Med. Thor. 20, 235 - 249 (1963)
28. ULMER, W.T., G.THEWS und G. REICHEL:
Klinische Anwendbarkeit einer Mikroanalysemethode zur Bestimmung des Sauerstoff- und Kohlensäuredruckes im arteriellen Blut aus hyperaemisierten Kapillaren.
Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med. 69, 670 - 675 (1963)
29. WOITOWITZ, H.J.- D. SZADOWSKI und G.LEHNERT:
Feldstudie zum Normverhalten der arteriellen Blutgase und des p_H berufstätiger Männer und Frauen vor und gegen Ende dosierter Belastung im Hinblick auf die Begutachtung.
Arch. Kreisf.-Forsch. 58, 36 - 53 (1969)
30. WORTH, G., K.MUYSGERS und F.SIEHOFF:
Zur Problematik der Normwerte des arteriellen Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdruckes im Rahmen arbeitsmedizinischer Fragen.
Med. Thor. 20, 223 - 234 (1963)
31. ZEILHOFER, R. und H.HOFMANN: Arterieller Sauerstoffdruck und Kurzschußdurchblutung der Lunge bei Adipositas.
Klin. Wschr. 45, 121 - 126 (1967)

Sehr herzlich danke ich Herrn Professor
Dr. med. R. Zeilhofer für die Themenstellung
sowie für die freundliche Anleitung und Bera-
tung bei der Fertigstellung der Arbeit.

Ebenso gilt mein Dank Frau Klöcker für die
bereitwillige Unterstützung bei der Durch-
führung der Untersuchungen.

Lebenslauf

Am 6. Mai 1942 wurde ich als drittes von fünf Kindern des Pfarrers Hans Meisel und dessen Ehefrau Gertrud, geb. Federschmidt in Gärtenroth, Kreis Lichtenfels geboren.

Dort besuchte ich die ersten vier Volksschulklassen, von 1952 - 1960 das Humanistische Gymnasium Bayreuth, 1960 - 1962 das Neue Gymnasium in Nürnberg, wo ich die Reifeprüfung ablegte. 1962 nahm ich das Medizinstudium in Erlangen auf, wo ich es im Juli 1968 mit dem Staatsexamen abschloß. Nach der Medizinalzeit in Erlangen, Augsburg und Nürnberg begann ich 1970 mit der dermatologischen Facharzt-Weiterbildung.

Seit 1966 bin ich mit der Lehrerin Ilse geb. Schubert verheiratet, seit 1972 haben wir ein Adoptivkind.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109 (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990